مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۲، سال ۱۳۹۸

عملکرد و کیفیت علوفه و بهره‌وری مصرف آب کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت در شرایط تنش کم آبی

Forage Yield and Quality and Water Productivity of Kochia, Millet, Sorghum and Maize Under Water Deficit Stress Conditions

حمید نجفی‌نژاد[۱]، محمدعلی جواهری[۲]، نادر کوهی[۳] و پیروز شاکری[۴]

۱ و ۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۳- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
۴- دانشیار، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۵

چکیده

نجفی‌نژاد، ح.، جواهری، م. ع.، کوهی، ن. و شاکری، پ. ۱۳۹۸. عملکرد و کیفیت علوفه و بهره‌وری مصرف آب کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت در شرایط تنش کم آبی. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵: ۲۸۳-۲۶۱.**

به منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه و بهره‌وری مصرف آب چهار گیاه علوفه‌ای کوشیا (*Kochia scoparia* L. Schrad)، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط تنش کم آبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۵) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جوپار کرمان انجام شد. سطوح آبیاری در کرت‌های اصلی شامل آبیاری کامل (بدون تنش)، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب بر اساس ۸۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A و چهار گیاه علوفه‌ای شامل کوشیا، ارزن مرواریدی، سورگوم و ذرت در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. سورگوم در کلیه سطوح تنش خشکی بیشترین عملکرد علوفه را در مقایسه با سه گیاه دیگر تولید نمود. این گیاه در شرایط آبیاری کامل با تولید ۱۰۱۲۴۱ کیلوگرم علوفه تر و ۳۰۱۸۱ کیلوگرم علوفه خشک در هکتار بیشترین عملکرد علوفه را داشت. با افزایش تنش خشکی کاهش عملکرد در کوشیا نسبت به سایر گیاهان کمتر بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش ملایم به دست آمد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آبیاری بهینه، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب با مقادیر۳/۱۷ ، ۲/۹۷ و ۲/۸ کیلوگرم علوفه خشک بر متر مکعب آب به سورگوم تعلق داشت. ارزن با ۱۱/۸۹ درصد پروتئین خام بیشترین و سورگوم با ۸/۱۹ درصد کمترین پروتئین خام علوفه را داشتند. بر اساس نتایج این پژوهش سورگوم دارای بیشترین عملکرد علوفه و بهره‌وری مصرف آب و کوشیا به عنوان متحمل‌ترین علوفه به تنش خشکی بود. با توجه به اهمیت کمیت و کیفیت علوفه برای پرورش دام تحقیق بر روی کشت مخلوط سورگوم با ارزن پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: علوفه خشک، پروتئین خام، تحمل به خشکی، تنش ملایم، پتاسیم.

نگارنده مسئول: hnajafinezhad@yahoo.com تلفن:۰۳۴۳۲۱۱۲۳۹۱

مقدمه

یکی از راهکارهای افزایش تولید با منابع محدود آب استفاده از گیاهان متحمل به خشکی با بهره‌وری مصرف آب بالا می‌باشد. تنش خشکی ناشی از کم آبی مهمترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را بیش از هر تنش دیگری کاهش می‌دهد (Shao *et al.*, 2009). معصومی (Masoumi, 2010) در بررسی اثر تنش خشکی به صورت قطع آب در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی بر روی دو توده کوشیا بیان نمود که پس از اعمال تنش شدید (قطع آب به مدت چهار هفته) در مراحل مختلف رشد رویشی، رشد گیاه بازیابی شده است.

در منابع متعددی بیان شده است که به دلیل مقامت به خشکی و شوری کوشیا و عملکرد قابل قبول تحت تنش خشکی، از این گیاه می‌توان به عنوان گزینه مناسبی برای تولید علوفه در مناطق خشک استفاده نمود. صالحی (Salehi, 2010) بیان نموده است که تحت تنش خشکی، کوشیا اندام‌های فتوسنتزی را حفظ نموده است و به دلیل مقاومت به خشکی می‌توان از روش کم آبیاری برای آبیاری این گیاه استفاده نمود.

در مقایسه ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم علوفه سیلویی ارزن، ذرت و سورگوم به عنوان کشت دو گانه در دانشگاه لوییزیانا نشان داده شده است که ارزن مرواریدی بالاترین درصد پروتئین خام را قبل و بعد از سیلو کردن داشته ولی سورگوم از بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی برخوردار بوده است (Ward *et al.*, 2001). میرلوحی و همکاران (Mirlouhi *et al.*, 2001) برتری عملکرد علوفه تر سورگوم را نسبت به ذرت بیان نمودند، در حالیکه در پژوهش دیگری در شرایط کشت دوگانه برتری ذرت نسبت به ارزن و سورگوم از لحاظ عملکرد علوفه خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی گزارش شده است (Khalesroo *et al.*, 2010). در پژوهش دیگری برتری ارزن نسبت به سورگوم در علوفه تر بیان شده است (Fontaneli *et al.*, 2001).

ذرت جزو گیاهان چهار کربنه بوده که به دلیل فقدان تنفس نوری کارآیی فتوسنتزی آن در دمای بالا به طور قابل توجهی بیشتر از گیاهان سه کربنه می‌باشد و بیشترین ماده خشک را برحسب واحد آب مصرف شده تولید می‌کند. این گیاه بهره‌وری مصرف آب بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد و به ازای هر ۱۰۰۰ گرم آب مصرفی به طور میانگین ۲/۸۷ گرم ماده خشک تولید می‌کند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک در ذرت ۳۶۸ لیتر و در سورگوم ۳۳۲ لیتر آب مورد نیاز می باشد (House, 1985).

سورگوم به دلیل تحمل به خشکی قادر به فعالیت فتوسنتزی در پتانسیل پایینی از آب برگ می‌باشد ولی برای تولید علوفه زیاد به آب فراوان نیاز دارد. تولید ماده خشک در این

گیاه تحت تاثیر کمبود آب قرار گرفته و با افزایش میزان تنش کاهش می‌یابد (Ludlow *et al.*, 1990). بنا به گفته سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1995) سورگوم تحمل به خشکی بیشتری نسبت به ذرت دارد، بنابراین بهترین جایگزین برای ذرت در مناطق خشك و کم آب می‌باشد.

محققان زیادی رابطه بین عملکرد و مقدار آب مصرف شده را خطی گزارش نموده‌اند (Bordovsky and Lyle, 1996)، اما در بحث اثر آبیاری بر عملکرد گیاه باید توجه نمود که با آبیاری برای رسیدن به حداکثر عملکرد، حداکثر بهره‌وری مصرف آب به دست نمی‌آید (Howell, 2001).

موزیک و دوسک (Musick and Dusek, 1971) بیان نمودند که حداکثر بهره‌وری مصرف آب وقتی حاصل می‌شود که آبیاری در شرایط تنش ملایم و یا در دوره‌های خشکی انجام شود. در آزمایشی بهره‌وری مصرف آب سورگوم دانه‌ای با مقادیر متفاوت آب مصرف شده و در خاك‌های متفاوت بین ۵۳/۵۳–۰/۱ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب گزارش شده است. در مطالعه مذکور با افزایش مصرف آب افزایش عملکرد گزارش شده است ولی حداکثر بهره‌وری مصرف آب با مصرف مقادیر متوسط آب به دست آمد (Tolk and Howell, 2003).

رایج‌ترین گیاه علوفه‌ای یک ساله بهاره و تابستانه مورد کشت در استان کرمان ذرت علوفه‌ای می‌باشد، ولی به دلیل مصرف بالای آب این گیاه و بحران کم آبی بررسی عملکرد گیاهان علوفه‌ای بهاره و تابستانه مانند کوشیا، ارزن و سورگوم به دلیل ویژگی‌های مناسب از جمله نیاز آبی کم و بهره‌وری مصرف آب بالا می‌تواند جزو راهکارهای مناسب برای حل معضل کمبود علوفه استان باشد. کوشیا، ارزن و سورگوم به دلیل تحمل به خشکی، سازگاری به شرایط کم آبی و عملکرد مطلوب به عنوان گیاهان جایگزین کشت ذرت در مناطق خشک مطرح می‌باشند.

با توجه به موارد فوق مقایسه چهار گیاه ذرت، سورگوم، ارزن مرواریدی و کوشیا در شرایط یکسان از نظر عملکرد و کیفیت علوفه و بهره‌وری مصرف آب برای تصمیم‌گیری و توصیه در شریط استان کرمان دارای اهمیت بود. این پژوهش برای پاسخ به این نیاز طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه و بهره‌وری مصرف آب کوشیا، ارزن مرواریدی، سورگوم و ذرت علوفه‌ای در شرایط کم آبی طی دو سال (۱۳۹۶–۱۳۹۵) در ایستگاه تحقیقات زنده‌روح مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان واقع در ۲۰ کیلومتری شهر کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع

۱۷۴۹ متری از سطح دریا انجام شد. منطقه مذکور دارای آب و هوای خشک و معتدل با حداقل درجه حرارت ۱۶- درجه سانتی‌گراد در دی و حداکثر ۴۲ درجه سانتی‌گراد در تیر می‌باشد.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. سطوح آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی شامل: آبیاری کامل (بدون تنش)، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب بر اساس ۸۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A و گیاهان علوفه‌ای شامل: کوشیا، ارزن مرواریدی، سورگوم و ذرت بطور تصادفی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این پژوهش رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ ذرت، رقم اسپیدفید سورگوم، رقم نوتریفید ارزن مرواریدی و توده محلی کوشیا کرمان مورد استفاده قرار گرفتند. در هر دو سال تاریخ کشت آزمایش پنجم خرداد بود. هر کرت فرعی شامل پنج خط (پشته) به فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به طول شش متر (مساحت هر کرت ۱۸مترمربع) را داشت.

خاک محل اجرای آزمایش در دو سال از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمون خاک مقدار کود شیمیایی در هر دو سال ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۴۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار به ترتیب از منبع کود اوره و سوپر فسفات تریپل مصرف شد. تمام کود فسفات و ۲۵ درصد کود نیتروژن قبل از کاشت و در زمان آماده‌سازی زمین مصرف گردید. برای ایجاد شرایط یکنواخت در آزمایش، باقیمانده کود نیتروژن برای تمام گیاهان مورد بررسی در مرحله هشت برگی ذرت (۷۰ درصد) و در مرحله ۱۲ برگی ذرت (۳۰ درصد) به طور همزمان به صورت ردیفی و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک استفاده گردید.

کاشت هر گیاه در وسط ردیف‌های کاشت و بر اساس تراکم و عمق توصیه شده برای هر گیاه انجام شد به طوری که تراکم نهایی برای ذرت ۱۱۹۰۴۷بوته در هکتار (فواصل ۶۰ × ۱۴ سانتی‌متر) و برای سورگوم، ارزن و کوشیا ۲۷۷۷۰۰ بوته در هکتار (فواصل ۶۰ × ۶ سانتی‌متر) بود. در زمان کاشت، بذر هر گیاه با تراکم زیاد کشت شد و برای رسیدن به تراکم توصیه شده ده روز پس از سبز شدن تنک صورت گرفت. پس از کاشت به منظور سبز شدن یکنواخت مرزعه، دو نوبت آبیاری (یک نوبت به فاصله چهار روز و یک نوبت به فاصله شش روز) انجام شد و پس از آن تیمارهای تنش خشکی بر اساس تبخیرتجمعی از تشتک تبخیر کلاس A اعمال شد.

برای تعیین زمان آبیاری تیمارها از قرائت روزانه میزان تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A که در مجاورت آزمایش نصب بود استفاده شد و پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی از تشتک به مقدار مورد نظر، آبیاری واحدهای آزمایشی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر)

Table 1. Soil physico-chemical properties (0-30 cm soil depth)

سال Year	بافت خاک Soil texture	درصد رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه F. C. (%)	درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم P. W. P. (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر مترمکعب) B. D. ($g\ cm^{-3}$)	درصد کربن آلی O. C. (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته خاک pH
2016	S. L. لومی شنی	19.2	7.8	1.4	0.51	9	215	1.2	7.9
2017	S. L لومی شنی	19.5	7.9	1.45	0.54	9.6	228	1.3	7.8

F. C.: Field capacity, P. W. P.: Permament wilting point, B. D.: Bulk density, O. C.: Organic carbon, S. L.: Sandy loam, EC: Electrical conductivity.

انجام شد. در سطوح ۸۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر، مقادیر کمبود رطوبتی خاک به طور متوسط در طول فصل رشد گیاه به ترتیب ۵۲، ۷۶ و ۹۱ درصد آب قابل استفاده در خاک بود که بیانگر وقوع تنش در گیاه بود.

اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق فعال توسعه ریشه و در زمان آبیاری با استفاده از دستگاه (Time–Domain Reflectometry) T.D.R مدل Trime-FM کالیبره شده انجام شد. عمق آب آبیاری در هر مرحله به اندازه‌ای بود که رطوبت خاک را تا عمق توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برساند. میزان آب مورد نیاز هرکرت در هر مرحله آبیاری بر اساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی و بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Fotouhi *et al.*, 2009).

$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times d$

$I_g = I_n / e$

$V = I_g \times A$

θ_{fc}: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i: رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری

d: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، I_n: عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e: کارآیی آبیاری (۸۱ درصد)، I_g: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، A: مساحت کرت (مترمربع)، V: حجم آب مورد نیاز کرت (لیتر).

پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز برای هر کرت، با استفاده از کنتور حجمی دو اینچی تحت فشار که در مدخل ورود آب به کرت روی لوله‌های پلی‌اتیلنی دو اینچی نصب شد، آب وارد کرت می‌شد.

تاریخ برداشت سورگوم، ارزن و کوشیا ۸۹ روز پس از کاشت و همزمان با مرحله خمیری نرم ذرت انجام گرفت تا بتوان گیاهان را در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار داد (در زمان برداشت سورگوم در مرحله ظهور ۱۰ درصد پانیکول‌ها، ارزن در انتهای مرحله رشد رویشی و کوشیا در مرحله غنچه‌دهی قرار داشت). برای ارزیابی کیفیت علوفه همزمان با برداشت، نمونه‌برداری با استفاده از ۱۰ بوته تصادفی در هر کرت انجام شد که پس از خشک نمودن و پودر کردن نمونه‌ها جهت تجزیه به آزمایشگاه کیفیت علوفه ارسال شدند.

برداشت برای هر چهار گیاه علوفه‌ای به طور همزمان و از دو خط میانی هر کرت در سطحی معادل هفت مترمربع انجام شد و پس از توزین، عملکرد تر علوفه بر مبنای تن در هکتار محاسبه گردید. برای محاسبه و تعیین وزن خشک علوفه، از علوفه تر یک نمونه تهیه و پس از توزین با قراردادن نمونه‌ها در آون تحت دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت و توزین مجدد، با استفاده از فرمول زیر درصد رطوبت علوفه محاسبه گردید (AOAC, 1990).

درصد رطوبت علوفه $= [(DW_1 - DW_2 / DW_1) \times 100]$

DW_1= وزن تر نمونه، DW_2 = وزن خشک نمونه

بهره‌وری مصرف آب علوفه از تقسیم میزان علوفه تولید شده درهر کرت بر میزان آب مصرف شده برای هر کرت بر اساس کیلوگرم علوفه تر و خشک بر مترمکعب آب مصرفی به دست آمد.

برای تعیین میزان NDF (سلولز، همی سلولز و لگنین) و ADF (سلولز و لگنین) دیواره سلولی با استفاده از روش ون‌سوئست (Van Soest *et al.*, 1991) نیاز به تهیه محلول‌های شوینده خنثی و اسیدی می‌باشد. اندازه‌گیری صفات مذکوردر آزمایشگاه بخش تحقیقات علوم دامی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان انجام شد.

ماده خشک قابل هضم (DDM) ماده خشک مصرفی (DMI) و ارزش نسبی علوفه (RFV) بر اساس روابط زیر تعیین شدند (Horrocks and Vallentine, 1999).

DDM = 88.9 - (0.779×%ADF)

DMI = 120 / %NDF

RFV = (DDM×DMI) / 1.29

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌های گیاهی ابتدا عصاره هضمی در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان تهیه شد. سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر به ترتیب در طول موج‌های ۵۹۰ و ۷۶۶/۵ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت. نیتروژن کل علوفه خشک با استفاده از روش کجدال توسط دستگاه کجل‌تک اندازه‌گیری شد و پروتئین خام از حاصلضرب نیتروژن کل در ضریب ۶/۲۵ بدست آمد (Sparks, 1996).

داده‌های دو سال با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS.9.2 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. قبل از انجام تجزیه‌های آماری، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS برای هر صفت مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه بر عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری بهینه سورگوم با تولید ۱۰۱۲۴۱ و ۳۰۱۸۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب علوفه تر و خشک بیشترین عملکرد علوفه را داشت و پس از آن به ترتیب ذرت، ارزن و کوشیا قرار گرفتند. در سطوح تنش ملایم و تنش شدید نیز سورگوم بیشترین عملکرد علوفه را داشت و پس از سورگوم به ترتیب بیشترین عملکرد علوفه به ذرت، ارزن و کوشیا تعلق داشت (جدول ۳). در بررسی برهمکنش سال × گونه گیاه علوفه‌ای، سورگوم بیشترین و کوشیا کمترین عملکرد علوفه را در هر دو سال داشت (جدول ۴).

در هر چهار گیاه مورد مطالعه با افزایش

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای خصوصیات زراعی و کیفیت علوفه تحت تاثیر رژیم آبیاری و گونه گیاه علوفه‌ای

Table 2. Combined analysis of variance for agronomic and forage quality characteristics as affect by irrigation regime and plant species

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	عملکرد تر علوفه Fresh forage yield	بهره وری مصرف آب علوفه تر Water productivity for FFY	عملکرد خشک علوفه Dry forage yield	بهره وری مصرف آب علوفه خشک Water productivity for DFY	محتوای پروتئین علوفه Forage protein content
Year (Y)	سال	1	328240968**	55.906537**	85651824**	14.38401**	0.7004167
Replication/ Y	تکرار/ سال	6	188312729	3.3285986	22980089	0.41116319	1.1583944
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	4187821682**	4.623404*	44438026**	0.02007917	21.232519**
Y × I	سال × رژیم آبیاری	2	570612678**	3.0987375	11178315**	0.6328166*	9.893038*
Error a	خطای آزمایش الف	12	73375513	1.2734069	9114984	0.15915486	3.1054278
Plant species (P)	گونه گیاه	3	643288908**	104.67841**	510726438**	8.4375569**	60.844991**
I × P	رژیم آبیاری × نوع گیاه	6	65174795**	3.5364153	42520169*	0.21694028	5.1538990
Y × P	سال × گونه گیاه	3	93637588**	15.140404**	164520601**	2.3932638**	26.288186**
Y × I × P	سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه	6	200580588	1.9805958	66393729**	0.65935556	4.4032622
Error b	خطای آزمایش ب	54	160716114	3.0201903	19084823	0.35636875	2.8400815
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	21.5	22.08	26.5	27.2	17.33

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

FFY: Fresh forage yield, DFY: Dry forage yield.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد علوفه، بهره‌وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی و کیفیت علوفه تحت تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه

Table 3. Mean comparison of forage yield, water productivity and some agronomic and forage quality characteristics as affected by irrigation regime × plant species interaction

Plant species	گونه گیاه	بهره وری مصرف آب علوفه تر (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for FFY (kg m^{-3})	عملکرد علوفه تر (کیلوگرم در هکتار) Fresh forage yield (kg ha^{-1})	درصد خاکستر Ash (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF (%)	درصد پروتئین علوفه Forage protein content (%)	عملکرد خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry forage yield (kg ha^{-1})	بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for DFY (kg m^{-3})	درصد ماده خشک مصرفی DMI (%)	درصد پتاسیم Potassium content (%)
						Optimal irrigation آبیاری بهینه					
Kochia	کوشیا	4.16d	39858.5ed	12.1a	36.03a	57.53a	9.9bc	13299.4cd	1.4c	2.09a	1.55cd
Maize	ذرت	8.7abc	82813.1ab	9.8bc	27.2b	59.57a	8.76cd	21388.6b	2.25abc	2.01a	2.09bcd
Millet	ارزن	6.41cd	60856.4cd	12.1a	32.5ab	63.48a	10.39abc	17684bcd	1.86bc	1.89a	1.392d
Sorghum	سورگوم	10.6a	101241.07a	10.5abc	31.3ab	58.4a	6.903d	30181a	3.17a	2.06a	1.88bcd
						Mild stress تنش ملایم					
Kochia	کوشیا	6.5cd	44875.1ed	10.3abc	34.26a	61.54a	8.68cd	12438.4d	1.80c	1.96a	1.86cd
Maize	ذرت	8.92abc	61462.3bcd	10.5ab	31.44ab	59.63a	8.99cd	15463bcd	2.24abc	2.02a	2.15bc
Millet	ارزن	7.16cd	49425.6ed	11.9a	30.8ab	57.74a	12.11ab	12794.3d	1.85bc	2.09a	2.14bc
Sorghum	سورگوم	10.42a	71859.9bc	9.87bc	31.01ab	58.8a	8.48cd	20481.2bc	2.97a	2.05a	2.44ab
						Severe stress تنش شدید					
Kochia	کوشیا	6.09cd	37703.9e	9.53bcd	34.98a	58.59a	10.7abc	11017.8d	1.78c	2.06a	2.49ab
Maize	ذرت	8.48abc	52418.6cde	7.87d	31.37ab	58.2a	9.17cd	14061bcd	2.27abc	2.06a	2.17bc
Millet	ارزن	6.92cd	42812.7de	11.93a	31.3ab	59.59a	13.16a	11249.3d	1.81c	2.02a	2.2abc
Sorghum	سورگوم	9.92ab	61353.8bcd	8.63cd	30.57ab	59.48a	9.19cd	17540.3bcd	2.8ab	2.02a	2.99a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not signicantly different at the 5% probability level- using Tukey’s Test.

FFY: Fresh forage yield, DFY: Dry forage yield, ADF: Acid detergent fibre, NDF: Neutral detergent fibre, RFV: Relative feed value, DMI: Dry matter intake, DDM: Digestable dry matter.

جدول ۴- میانگین عملکرد علوفه، بهره وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی و کیفیت علوفه تحت تأثیر برهمکنش سال × گونه گیاه

Table 4. Mean comparison of forage yield, water productivity and some agronomic and forage quality characteristics as affect by year × plant species interaction

Plant species	گونه گیاه	بهره وری مصرف آب علوفه تر (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for FFY (kg m^{-3})	بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for DFY (kg m^{-3})	عملکرد علوفه تر (کیلوگرم در هکتار) Fresh forage yield (kg ha^{-1})	درصد خاکستر Ash (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF (%)	درصد پروتئین علوفه Forage protein content (%)	درصد ارزش نسبی علوفه RFV (%)	درصد ماده خشک مصرفی DMI (%)	درصد ماده خشک قابل هضم DDM (%)	درصد پتاسیم Potassium content (%)
						2016						
Kochia	کوشیا	5.56d	1.94bcd	40166.6d	10.82bc	37.41a	56.79b	9.64bcd	98.4ab	2.1a	59.75c	2.17abc
Maize	ذرت	10.29ab	2.7b	77475.0ab	9.01d	25.64c	59.05ab	7.97cd	108.6a	2.03ab	68.92a	1.86bc
Millet	ارزن	7.032cd	1.9cd	52733.3cd	11.67ab	30.95b	63.14a	13.29a	95.6b	1.9b	64.78b	2.02abc
Sorghum	سورگوم	11.63a	3.78a	88575.0a	9.44cd	30.2b	59.42ab	7.63d	102.4ab	2.019ab	65.37b	2.54a
						2017						
Kochia	کوشیا	5.61d	1.38d	41458.4d	10.55bc	32.7b	61.66ab	10bc	96.3b	1.96ab	63.4b	1.7c
Maize	ذرت	7.13cd	1.81cd	53654.4cd	9.8cd	34.38ab	59.23ab	9.98bc	97.8ab	2.03ab	62.1bc	2.4ab
Millet	ارزن	6.63d	1.81cd	49329.8d	12.2a	32.2b	57.39b	10.49b	104.3ab	2.1a	63.8b	1.86bc
Sorghum	سورگوم	9.04bc	2.21bc	67728.2bc	9.94cd	31.72b	58.43ab	8.75bcd	103.1ab	2.07ab	64.2b	2.34ab

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not signicantly different at the 5% probability level- using Tukey’s Test.

FFY: Fresh forage yield, DFY: Dry forage yield, ADF: Acid detergent fibre, NDF: Neutral detergent fibre, RFV: Relative feed value, DMI: Dry matter intake, DDM: Digestable dry matter.

سطح تنش خشکی عمکرد علوفه کاهش نشان داد اما این کاهش به دلیل واکنش و خصوصیات متفاوت مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان یکسان نبود. درصد کاهش عملکرد علوفه خشک کوشیا در شرایط تنش ملایم و تنش شدید نسبت به شرایط آبیاری بهینه به ترتیب ۶/۴ درصد و ۱۷/۲درصد بود (جدول ۳).

کوشیا تحت شرایط تنش ملایم و شدید کمترین درصد کاهش عملکرد را نشان داد. ذرت، سورگوم و ارزن با سامانه ریشه‌ای افشان از عمق توسعه ریشه‌ای کمتری در مقایسه با کوشیا که از گروه گیاهان دولپه با سامانه ریشه‌ای عمیق می‌باشد برخوردارند. بنابراین کاهش کمتر عملکرد در گیاه کوشیا تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال را می‌توان تا حد زیادی به سامانه ریشه‌ای عمیق این گیاه مرتبط دانست که می‌تواند رطوبت خاک را از عمق بیشتری جذب نماید (در این مطالعه از ۲۰ روز پس از کاشت تا یک هفته قبل از برداشت عمق توسعه ریشه با حفر پروفیل و بیرون کشیدن بوته‌ها از خاک اندازه‌گیری شد، به طوری که در آخرین نمونه‌برداری عمق ریشه در گیاهان کوشیا، سورگوم، ذرت و ارزن به ترتیب ۵۱، ۳۶، ۳۴ و ۲۹ سانتی‌متر بود).

در شرایط تنش خشکی کاهش انتقال هورمون سیتوکینین از ریشه به شاخساره و افزایش مقدار آبسیزیک‌اسید در شاخساره به تغییر تعادل هورمونی، کاهش فعالیت آنزیم های فتوسنتزی و در نهایت کاهش زیست توده گیاه منجر می‌شود (Faroog *et al.*, 2008). همچنین کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ورود گاز کربنیک به داخل برگ، کاهش محتوی نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز در پاسخ به کاهش رطوبت خاک باشد. کاهش عملکرد علوفه ذرت و سورگوم در شرایط تنش خشکی در مطالعات سایر محققان نیز گزارش شده است (Kamara *et al.*, 2003; Branka *et al.*, 2018).

بهره‌وری مصرف آب علوفه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رژیم آبیاری، گونه گیاه و برهمکنش سال × گونه گیاه و بر بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر و برهمکنش سال × رژیم آبیاری و سال × گونه گیاه بر بهره‌وری مصرف آب برای علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۲). بهره‌وری مصرف آب برای علوفه تر در شرایط تنش ملایم به طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری بهینه بود در حالی که تیمار تنش شدید با تیمار آبیاری بهینه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). سایر مطالعات نیز حداکثر بهره‌وری مصرف آب را در شرایط تنش ملایم گزارش نموده‌اند (Howell, 2001).

در شرایط تنش ملایم با بسته شدن جزیی روزنه‌ها چون کاهش تعرق بیش از کاهش غلظت CO_2 در داخل سلول تحت تاثیر قرار

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد علوفه، بهره وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی و کیفیت علوفه تحت تأثیر رژیم آبیاری و نوع گیاه

Table 5. Mean comparison of forage yield, water productivity and some agronomic and forage quality characteristics as affected by irrigation regime and plant species

		بهره وری مصرف آب علوفه تر (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for FFY (kg m^{-3})	عملکرد علوفه تر (کیلوگرم در هکتار) Fresh forage yield (kg ha^{-1})	درصد خاکستر Ash (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF (%)	درصد پروتئین علوفه Forage protein content (%)	عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry forage yield (kg ha^{-1})	بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for DFY (kg m^{-3})	درصد ارزش نسبی علوفه RFV (%)	درصد ماده خشک مصرفی DMI (%)	درصد ماده خشک قابل هضم DDM (%)
						Irrigation regime رژیم آبیاری						
Optimal irrigation	آبیاری بهینه	7.492b	71192a	11.17a	31.78a	59.74a	8.99b	20638.3a	2.17a	100.1a	2.01a	64.1a
Mild stress	تنش ملایم	8.252a	56906b	10.66a	31.89a	59.45a	9.56ab	15294.3b	2.21a	101.09a	2.03a	64.05a
Severe stress	تنش شدید	7.856ab	48572c	9.49b	32.05a	58.97a	10.6a	13467.2b	2.18a	101.3a	2.04a	63.9a
						Plant species گونه گیاه						
Kochia	کوشیا	5.58c	40813d	10.68b	35.092a	59.23a	9.82b	12252c	1.66c	97.3a	2.04a	61.5b
Maize	ذرت	8.71b	65565b	9.4c	30.01b	59.14a	8.97bc	16971b	2.25b	103.2a	2.03a	65.5a
Millet	ارزن	6.834c	51032c	11.98a	31.58b	60.27a	11.89a	13909bc	1.84bc	99.9a	2a	64.2a
Sorghum	سورگوم	10.338a	78152a	9.69c	30.96b	58.92a	8.19c	22734a	2.8a	102.7a	2.04a	64.7a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not signicantly different at the 5% probability level- using Tukey’s Test.

FFY: Fresh forage yield, DFY: Dry forage yield, ADF: Acid detergent fibre, NDF: Neutral detergent fibre, RFV: Relative feed value, DMI: Dry matter intake, DDM: Digestable dry matter.

می‌گیرد، بنابراین تعرق بیشتر از فتوسنتز کاهش یافته و در نتیجه بهره‌وری مصرف آب افزایش می‌یابد، اما در تنش شدید چون روزنه‌ها به طور کامل بسته می‌شوند کارآیی مصرف آب به دلیل کاهش قابل توجه فتوسنتز کاهش می‌یابد (Taiz and Zeiger, 1998).

بررسی برهمکنش سال × گونه گیاه نشان داد که سورگوم و ذرت در هر دو سال به ترتیب بیشترین بهره‌وری مصرف آب و کوشیا و ارزن به ترتیب کمترین بهره وری مصرف آب را داشتند (جدول ۴). در سال اول بیشترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه خشک مربوط به سورگوم (۳/۷۸ کیلوگرم علوفه خشک بر متر مکعب آب) و در سال دوم کمترین بهره‌وری مصرف آب برای علوفه خشک مربوط به کوشیا (۱/۳۸ کیلوگرم علوفه خشک بر مترمکعب آب) به دست آمد (جدول ۴). با توجه به حجم آب مصرف شده برتری بهره‌وری مصرف آب سورگوم نسبت به سایر گیاهان مورد مطالعه به عملکرد بیشتر سورگوم مربوط می‌شود، بنابراین می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش یا کم آبیاری، گیاه با مصرف یک واحد آب ماده خشک بیشتری در مقایسه با شرایط بدون تنش تولید کرد و بهره وری مصرف آب افزایش یافت.

بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که بهره‌وری مصرف آب بیشتر نمی‌تواند ارتباط مستقیمی با مقاومت به خشکی گیاه داشته باشد. در یک گیاه بهره‌وری مصرف آب مقدار ثابتی نیست و بسته به عوامل متعددی از جمله خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی و اثر متقابل آنها متفاوت می‌باشد. در آزمایشی بهره‌وری مصرف آب سورگوم دانه‌ای با مقادیر متفاوت آب مصرف شده و در خاک‌های متفاوت بین ۰/۱-۵۳/۵۳ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب گزارش شده است (Tolk and Howell, 2003).

فاری و فاسی (Farre and Faci, 2006) گزارش کردند که سورگوم در شرایط تنش رطوبتی ملایم و شدید بهره‌وری مصرف آب بیشتری نسبت به ذرت داشت، در حالی که در آبیاری بهینه بهره‌وری مصرف آب ذرت بیشتر از سورگوم بود. عوامل متعددی از جمله حاصلخیزی خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک و تبخیر رطوبت از خاک نیز می‌توانند بهره‌وری مصرف آب را تحت تأثیر قرار داده و به کاهش و یا افزایش آن منجر شوند (Howell, 2001). نجفی نژاد و همکاران (Najafinezhad *et al.*, 2014) نیز افزایش بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش خشکی به واسطه کاهش هدرروی آب از طریق تعرق را برای ذرت گزارش کردند.

پروتئین خام

اثر رژیم آبیاری، برهمکنش سال × رژیم آبیاری، گونه گیاه و برهمکنش سال × گونه گیاه بر محتوای پروتئین خام علوفه معنی‌دار بود

(جدول ۲). بیشترین مقدار پروتئین خام علوفه مربوط به تیمار تنش شدید خشکی (۱۰/۶ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری بهینه (۸/۹۹ درصد) به دست آمد (جدول ۴). در بررسی برهمکنش سال × رژیم آبیاری در هر دو سال، بیشترین مقدار پروتئین خام مربوط به تیمار تنش شدید خشکی بود (جدول ۶). این یافته‌ها با نتایج سایر محققان مبنی بر افزایش درصد پروتئین خام علوفه در شرایط تنش خشکی مطابقت دارد (Najafinezhad *et al.*, 2014).

برخی پژوهشگران بیان نموده‌اند که افزایش میزان پروتئین خام در شرایط تنش‌خشکی در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلولی روی می‌دهد (Gusta, and Chen, 1987). با توجه به کاهش عملکرد علوفه در شرایط تنش خشکی می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش تولید ماده خشک در هر گیاه غلظت نیتروژن در بافت گیاه افزایش یافته و از رقیق شدن عنصر غذایی در بافت گیاه کاسته می‌شود (Tanguling *et al.*, 1987).

برهمکنش سال × گونه گیاه نشان داد که ارزن در هر دو سال بیشترین پروتئین خام و سورگوم در هر دو سال کمترین مقدار را داشت (جدول ۴). درصد پروتئین خام علوفه کوشیا بسته به شرایط محیطی، زمان برداشت علوفه و ژنوتیپ از ۷ تا ۱۸ درصد گزارش شده است (Kafi *et al.*, 2010). درصد پروتئین خام بالا در علوفه کوشیا و ویژگی تحمل به خشکی آن، اهمیت این گیاه علوفه‌ای را به منظور جایگزینی با گیاهان پر مصرف آب دو چندان می‌نماید.

ویژگی‌های کیفیت علوفه

اثر برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه و همچنین برهمکنش سال × گونه گیاه بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی معنی‌دار بود. اثر برهمکنش سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود (جدول ۷). در بررسی برهمکنش سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه کمترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) به ذرت و بیشترین آن به کوشیا در شرایط آبیاری بهینه تعلق داشت (جدول ۸).

در سال اول بیشترین مقدار NDF مربوط به ارزن (۶۳/۱۴ درصد) و در سال دوم متعلق به کوشیا (۶۱/۶ درصد) بود (جدول ۴). الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) تحت تاثیر برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار نداشت ودامنه تغییرات این صفت بین ۵۷/۵۳ درصد تا ۶۳/۴۸ درصد متغیر بود (جدول ۳). بیشترین ارزش نسبی علوفه (۱۱۳/۰۱ درصد) به ذرت در شرایط آبیاری بهینه در سال اول تعلق داشت (جدول ۸). بیشترین ماده خشک قابل هضم نیز به ذرت در سال اول و شرایط آبیاری بهینه تعلق داشت (جدول ۸).

گزارش شده است که تنش خشکی کیفیت علوفه را از طریق افزایش ADF و NDF و

جدول ۶ – مقایسه میانگین عملکرد علوفه، بهره وری مصرف آب و برخی خصوصیات زراعی و کیفیت علوفه تحت تأثیر برهمکنش سال × رژیم آبیاری

Table 6. Mean comparison of forage yield, water productivity and some agronomic and forage quality characteristics as affected by year × irrigation regime interaction

Irrigation refime	رژیم آبیاری	بهره وری مصرف آب علوفه تر (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity for FFY (kg m^{-3})	عملکرد علوفه تر (کیلوگرم در هکتار) Fresh forage yield (kg ha^{-1})	درصد خاکستر Ash (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF (%)	درصد پروتئین علوفه Forage protein content (%)	عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry forage yield (kg ha^{-1})	بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم بر مترمکعب) Water Productivity for DFY (kg m^{-3})	درصد ارزش نسبی علوفه RFV (%)
						2016				
Optimal irrigation	آبیاری بهینه	8.6a	81856.25a	9.4b	31.45a	61.01a	8.27b	25746.79a	2.69a	98.3a
Mild stress	تنش ملایم	8.7a	59687.5b	10.67ab	31.34a	59.86a	9.77ab	16877.54b	2.46a	100.4a
Severe stress	تنش شدید	8.6a	52668.7bc	10.7ab	30.36a	57.93a	10.89a	15736.38b	2.56a	105a
						2017				
Optimal irrigation	آبیاری بهینه	6.4c	60528.3b	9.62b	32.13a	58.48a	9.72ab	15529.8b	1.64b	101.9a
Mild stress	تنش ملایم	7.8ab	54124bc	10.67ab	32.45a	59.045a	9.39ab	13710.98bc	1.97b	101.6a
Severe stress	تنش شدید	7.12bc	44475.8c	11.67a	33.75a	60.02a	10.3ab	11198.03c	1.79b	97.7a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not signicantly different at the 5% probability level- using Tukey’s Test.

FFY: Fresh forage yield, DFY: Dry forage yield, ADF: Acid detergent fibre, NDF: Neutral detergent fibre, RFV: Relative feed value, DMI: Dry matter intake, DDM: Digestable dry matter.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب برای ویژگی‌های کیفیت علوفه تحت تاثیر رژیم آبیاری و گونه گیاه

Table 7. Combined analysis of variance for forage quality properties as affected by irrigation regimes and plant species

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	ماده خشک قابل هضم DDM	ماده خشک مصرفی DMI	ارزش نسبی علوفه RFV	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	خاکستر Ash	سدیم Na	پتاسیم K
Year (Y)	سال	1	43.174837**	0.01401667	17.493337	4.3137760	71.225376**	4.03850104	0.01283437**	0.07537604*
Replication/ Y	تکرار/ سال	6	3.8285708	0.00803889	56.342141	6.5070052	6.3061830	0.79201910	0.00112465	0.36851493
Irrigation regime (I)	رژیم آبیاری	2	0.3524573	0.00707917	13.111282	4.8509823	0.5833792	23.67898	0.01116562**	4.55105417**
Y × I	سال × رژیم آبیاری	2	10.1968719	0.05090417	260.40355**	43.6699260	16.8597792	2.17876979	0.0106156**	1.00646667**
Error a	خطای آزمایشی الف	12	9.4510604	0.01489306	43.478694	12.8733125	15.5697986	2.61718993	0.00061007	0.34462431
Plant species (P)	گونه گیاه	3	71.484534**	0.00765833	178.620436	8.6343760	117.803259**	32.5751288**	0.0664593**	1.24685104**
I × P	رژیم آبیاری × نوع گیاه	6	12.1833753	0.0411666*	132.123810	35.221928*	20.0646208	4.4494517**	0.00334896**	0.52370417*
Y × P	سال × گونه گیاه	3	109.276340**	0.1364305*	386.60846**	114.149717**	180.13809**	1.31039271	0.00043438	1.04243437**
Y × I × P	سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه	6	15.808670*	0.03528056	167.39469*	25.7798469	26.055465*	0.31480312	0.00199063*	0.37758333
Error b	خطای آزمایشی ب	54	6.800808	0.01944907	74.253824	14.477364	11.213540	1.2167478	0.00086308	0.19477581
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	4.02	6.86	8.5	6.4	10.5	10.65	23.4	20.77

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

DDM: Digestable dry matter, DMI: Dry matter intake, RFV: Relative feed value, NDF: Neutral detergent fibre, ADF: Acid detergent fibre.

جدول ۸- مقایسه میانگین عملکرد خشک علوفه، سدیم و برخی ویژگی‌های کیفیت علوفه تحت تأثیر برهمکنش سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه

Table 8. Mean comparison of dry forage yield, Na and some forage quality properties as affected by year × irrigation regime × plant species interaction

رژیم آبیاری Irrigation regime	Plant species	گونه گیاه	درصد ارزش نسبی علوفه RFV (%)	درصد ماده خشک قابل هضم DDM (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	درصد سدیم Na (%)	عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry forage yield (kg ha^{-1})
					2016		
آبیاری بهینه Optimal irrigation	Kochia	کوشیا	90.07ab	57.07c	40.85a	0.18a-d	14293.3cde
	Maize	ذرت	113.01a	72.9a	20.4c	0.12c-g	26338.8b
	Millet	ارزن	89.5b	63.11bc	33.1ab	0.1d-h	18925.8bcde
	Sorghum	سورگوم	100.8ab	64.48b	31.3b	0.13cd	43429.1a
تنش ملایم Mild stress	Kochia	کوشیا	99.09ab	60.58bc	36.34ab	0.21ab	13833.2cde
	Maize	ذرت	103.69ab	66.53ab	28.7bc	0.1d-h	18090.9bcde
	Millet	ارزن	98.72ab	65.42b	30.1b	0.11d-h	12624.8cde
	Sorghum	سورگوم	100.46ab	65.4b	30.17b	0.1d-h	22961bc
تنش شدید Server stress	Kochia	کوشیا	106.07ab	61.6bc	35.03ab	0.23a	14120.8cde
	Maize	ذرت	109.29ab	67.3ab	27.72bc	0.11c-h	16593.4bcde
	Millet	ارزن	98.7ab	65.8b	29.6b	0.1d-h	11104.4de
	Sorghum	سورگوم	105.92ab	66.24ab	29.09bc	0.12c-f	21126.7bcd
					2017		
آبیاری بهینه Optimal irrigation	Kochia	کوشیا	107.28ab	64.58b	31.2b	0.14bcd	12305.6cde
	Maize	ذرت	98.3ab	62.45bc	33.9ab	0.04gh	16438.4bcde
	Millet	ارزن	96.8ab	63.91bc	32.07ab	0.05f-h	16442.19bcde
	Sorghum	سورگوم	105.13ab	64.53b	31.2b	0.04gh	16932.8bcde
تنش ملایم Mild stress	Kochia	کوشیا	90.25ab	63.8bc	32.18ab	0.19abc	11043.6de
	Maize	ذرت	97.9ab	62.26bc	34.1ab	0.13cde	12835cde
	Millet	ارزن	112.4ab	64.3b	31.57b	0.115c-h	12963.79cde
	Sorghum	سورگوم	106.09ab	64.08bc	31.8ab	0.127cde	18001.4bcde
تنش شدید Server stress	Kochia	کوشیا	91.56ab	61.69bc	34.92ab	0.25a	7914.8e
	Maize	ذرت	97.34ab	61.61bc	35.03ab	0.1d-h	11529.1cde
	Millet	ارزن	103.5ab	63.2bc	32.98ab	0.04gh	11394.13cde
	Sorghum	سورگوم	98.3ab	63.9bc	32.05ab	0.1d-h	13953.99cde

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not signicantly different at the 5% probability level- using Tukey’s Test.

ADF: Acid detergent fibre, RFV: Relative feed value, DDM: Digestable dry matter.

کاهش تولید ماده خشک کاهش می‌دهد (Bernard *et al.*, 2004). مونتگمری (Montgomery, 2009) افزایش NDF، ADF و کاهش عملکرد و ماده خشک علوفه ذرت را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده است. الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) بیانگر دیواره سلولی (سلولز، همی سلولز و لگنین) و قابلیت هضم علوفه است. علوفه با قابلیت هضم بیشتر از سرعت هضم بیشتری برخوردار بوده و می‌تواند انرژی بیشتری برای دام تامین نماید (Waghorn *et al.*, 2007).

با توجه به همبستگی منفی بین ماده خشک قابل هضم (DDM) با میزان NDF و ADF علوفه (Najafinezhad *et al.*, 2014) می‌توان

بیان نمود که تنش خشکی با افزایش NDF و ADF و کاهش قابلیت هضم علوفه (DDM)، ارزش نسبی علوفه (RFV) را کاهش داد. علوفه‌هایی با قابلیت هضم بیشتر، انرژی بیشتری را به ازای هر واحد ماده خشک مصرف شده تولید می‌نمایند. بنابراین می‌توان بیان نمود که تنش خشکی با کاهش خوش خوراکی و قابلیت هضم علوفه کیفیت علوفه پایین آورد. کیفیت بهتر علوفه ذرت نسبت به سورگوم در تحقیق دیگری تایید شده است (Khalesroo *et al.*, 2010). همچنین در مطالعه مدیر شانه‌چی (Modeer Shanechee, 2001) کاهش کیفیت و قابلیت هضم علوفه و افزایش درصد الیاف علوفه در شرایط تنش خشکی گزارش شده است.

خاکستر علوفه

اثر رژیم آبیاری، گونه گیاه و برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه بر خاکستر علوفه معنی‌دار بود (جدول ۷). در مقایسه بین گیاهان مورد مطالعه ارزن و کوشیا به ترتیب با ۱۱/ ۹۸ و ۱۰/۶۹ درصد خاکستر نسبت به سایر گیاهان از میزان بیشتری خاکستر برخوردار بودند. تنش شدید کمترین میزان خاکستر (۹/۴۹ درصد) را داشت ولی بین سایر تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). در بررسی برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه نشان داد که ارزن در هر سه رژیم آبیاری در مقایسه با سایر گیاهان بیشترین خاکستر را داشت و ذرت در شرایط تنش شدید خشکی کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۳).

تفاوت بین ارقام از نظر میزان خاکستر را می‌توان به خصوصیات متفاوت ژنتیکی و فیزیولوژیک آنها در جذب مواد معدنی از خاک مربوط دانست. میزان خاکستر در واقع بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت گیاهی بوده و در گزارشات متعددی کاهش جذب مواد معدنی و کاهش خاکستر علوفه تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Modeer Shanechee, 2001; Wilson, 1983). در مطالعه‌ای کاهش درصد خاکستر علوفه در دو رقم سورگوم علوفه‌ای تحت تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (Abdi and Habibi, 2017).

محتوای سدیم و پتاسیم علوفه خشک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهمکنش سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه بر محتوای سدیم علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۷). بررسی برهمکنش سال × رژیم آبیاری × گونه گیاه نشان داد که کوشیا در هر دو سال و در شرایط تنش شدید بیشترین میزان سدیم علوفه خشک را داشت (جدول ۸). به طور کلی کوشیا در هر دو سال در کلیه سطوح تنش در مقایسه با سایر گیاهان از محتوی سدیم بیشتری برخوردار بود. برتری کوشیا نسبت به سایر گیاهان در محتوی سدیم بیشتر را می‌توان

به شورپسند بودن و خصوصیات فیزیولوژیک کوشیا مرتبط دانست. کوشیا گیاهی یکساله، شورپسند از خانواده اسفناج و از هالوفیت‌های دفع کننده نمک می‌باشد که منبع خوبی برای تولید علوفه را فراهم می‌کند (Lieth and Lohmann, 2000).

اثر برهمکنش رژیم آبیاری × گونه گیاه و همچنین اثر برهمکنش سال × گونه گیاه بر محتوای پتاسیم علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۷). سورگوم به ترتیب در شرایط تنش شدید و تنش ملایم در مقایسه با سایر تیمارها از بیشترین میزان پتاسیم در علوفه خشک برخوردار بود (جدول ۳). افزایش غلظت یون پتاسیم درگیاه تحت شرایط تنش را می‌توان ناشی از جذب بیشتر این یون در شرایط تنش دانست. در گزارش‌های متعددی افزایش مقدار جذب و تجمع این عنصر در گیاهان مختلف در شرایط تنش خشکی برای حفظ پتانسیل اسمزی بیان شده است (Tanguilig *et al.*, 1987; Khadem *et al.*, 2011). در شرایط تنش خشکی غلظت بیشتر پتاسیم در علوفه سورگوم نسبت به ذرت توسط نجفی‌نژاد و همکاران (Najafinezhad *et al.*, 2014) نیز گزارش شده است. آنها این برتری را به سامانه ریشه‌ای گسترده و ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم برای تحمل خشکی مرتبط دانسته‌اند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش سورگوم در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک را در مقایسه با ارزن، ذرت و کوشیا داشت. سورگوم با عملکرد ۷۸۱۰۰ و ۲۲۷۳۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب علوفه تر و خشک بیشترین عملکرد را داشت. کوشیا در شرایط تنش ملایم و شدید کمترین درصد کاهش عملکرد را نشان داد که بیانگر تحمل به خشکی بیشتر این گیاه است.

سورگوم و ذرت به ترتیب بیشترین بهره‌وری مصرف آب را داشتند و بیشترین بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش ملایم به دست آمد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای آبیاری بهینه، تنش ملایم و تنش شدید (به ترتیب ۳/۱۷ ، ۲/۹۷ و ۲/۸ کیلوگرم علوفه خشک بر متر مکعب آب) به سورگوم تعلق داشت. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان کرد که بهره‌وری مصرف آب بیشتر ارتباط چندانی با تحمل به خشکی ندارد و گیاه متحمل به خشکی ممکن است از بهره‌وری مصرف آب پایین‌تری برخوردار باشد و بر عکس آن نیز ممکن است وجود داشته باشد.

بیشترین پروتئین خام علوفه مربوط به ارزن و کمترین آن متعلق به سورگوم بود و با افزایش تنش خشکی درصد پروتئین خام علوفه افزایش یافت. دراین پژوهش کوشیا (گیاه شورپسند) در هر دو سال از بیشترین محتوای سدیم علوفه خشک برخوردار بود و سورگوم در شرایط تنش بیشترین محتوای پتاسیم را

داشت.

با توجه به بحران کم آبی و خشکسالی‌های دهه اخیر در استان کرمان تغییر الگوی کشت در راستای حذف و کاهش سطح زیر کشت گیاهان پر مصرف آب و معرفی گیاهان جدید و متحمل به خشکی مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین این پژوهش با هدف مقایسه سورگوم، ارزن مرواریدی، کوشیا (گیاهان متحمل به خشکی) و ذرت (گیاه حساس به خشکی) در شرایط یکسان انجام شد که بر اساس نتایج آن سورگوم دارای بیشترین عملکرد علوفه و بهره‌وری مصرف آب، کوشیا به عنوان متحمل‌ترین علوفه به تنش خشکی و گیاهان ارزن و ذرت دارای علوفه با کیفیت بودند. با توجه به اهمیت کیفیت علوفه تولیدی برای پرورش دام در کشور و عدم استقبال بخش دامپروری از علوفه سورگوم به دلیل کیفیت پایین آن پیشنهاد می‌شود کشت مخلوط سورگوم با ارزن مرواریدی در پژوهش‌های آینده در اولویت قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت محترم بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی کرمان جناب آقای مهندس محمدرضا پورخاتون و مدیر محترم زراعت جناب آقای مهندس فریدون آهنگری که با حمایت‌های مالی و معنوی زمینه اجرای این پژوهش را فراهم آوردند سپاسگزاری می‌نمایند.

References

Abdi, M., and Mahmoud, H. 2017. Effect of water stress on quality and quantity of two cultivars of forage sorghum in Jiroft region. Journal of Crop Ecology 13 (3): 40-35 (in Persian).

AOAC. 1990. Association of official analytical chemists, Washington DC. 15th ed. 1132 pp.

Bernard, J. K., West, J. W., Trammell, D. S., and Cross, G. H. 2004. Influence of corn variety and cutting height on nutritive value of silage feed to lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 87: 2172-2176.

Bordovsky, J. P., and Lyle, W. M. 1996. Protocol for planned soil water depletion or irrigated cotton. pp. 201-206. In: Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. San Antonio, TX.

Branka, K., Bosko, G., Angelina, T., and Goran, D. 2018. How irrigation water affects the yield and nutritional quality of maize (*Zea mays* L.) in a temperate climate. Polish Journal of Environmental Studies 27 (3): 1123–1131.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2008. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy of Sustainable Development 29: 185-212.

Farre, I., and Faci, J. M. 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 83: 135-143.

Fontaneli, R. S., Sollenberger, L. E., and Staples, Ch. R. 2001. Yield distribution and nutritive value of intensively managed warm- season unnual grasses. Agronomy Journal 93: 1257-1262.

Fotouhi, K., Ahmdaly J., Noorjo A., Pedram A., and Khorshid, A. 2009. Irrigation management under water discharge permit at the different stages of sugar beet grown in Miandoab region. Journal of Sugar Beet 24: 43–60 (in Persian).

Gusta, L. V., and Chen, T. H.. 1987. The physiology of water and temperature stress. pp. 115-150. In: Heyne, E. G. (ed.) wheat and wheat improvement. American Society of Agronomy.

Horrocks, R. D., and Vallentine, J. F. 1999. Harvested forages. Academic Press, San Diego, CA. 426 pp.

House, L. R. 1985. A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for Semiarids Tropics. Patancheru, India. 220 pp.

Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agronomy Journal 93:281-289.

Kafi, M., Asadi, H., and Ganjeali, A.. 2010. Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte Kochia scoparia as lternative fodder in saline agroecosystems. Agricultural Water Management. 97: 139-147.

Kamara, A. Y., Menkir, A., Badu-apraku, B., and Ibikunle, O. 2003. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. Journal of Agricultural Science 141: 43-50.

Khadem, S. A., Galavi, M., Ramrodi, M., Mousavi, S. R., Rousta, M. J., and Moghadam, M. R. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. Australian Journal of Crop Science 4 (8):642-647.

Khalesroo S., Aghaalikhani. M., Moddares Sanavy. S. A. M. 2010. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of forage maize, pearl millet and sorghum in double-cropping system. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 930–938 (in Persian).

Lieth, H., and Lohmann, M. 2000. Cash crop halophytes for future halophyte growers. Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück. 16 pp.

Ludlow, M. M., Santamaria, J. M., and Fukai, S. 1990. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under water - limited conditions. Water stress after anthesis. Australian Journal of Agricultural Research 40: 67-78.

Masoumi, A. 2010. Effect of drought stress on morphophysiological parameters of Kochia scoparia in field and greenhouse conditions. Ph. D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. 127 pp.

Mirlouhi, A., Great, N., and Basiri, M. 2001. Effect of different levels of nitrogen on growth, yield and silage quality of three forage sorghum hybrids. Journal of Agricultural Science and Technology. 4 (2): 115-105 (in Persian).

Modeer Shanechee, M. 2001. Production and management of forage plants. Publication of Astan Qods Razavi. 430 pp (in Persian).

Montgomery, R. 2009. Influence of corn hybrids and water stress on yield and nutritive value. M. Sc. Thesis. Texas Technical University. 46 pp.

Musick, J. T., and Dusek, D. A. 1971. Grain sorghum response to number, timing, and size of irrigation in the southern High Plains. Transactions, ASAE. 14: 401-410.

Najafinezhad, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Modares Sanavy, S. A. M., and Naghavi, H. 2014. Effects of irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer on forage yield and water use efficiency of maize and sorghum in double cropping. Seed and Plant Production Journal 30 (3): 327-349 (in Persian).

Salehi, M. 2010. Effect of salinity and water deficit on quantitative and qualitative production and physiological characteristics of *Kochia scoparia*. PhD Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. 189 pp. (in Persian).

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Panneerselvam, R., and Shao, M. A. 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the eco-environment in arid regions of the globe. Critical Reviews in Biotechnology 29: 131-151.

Singh, B. R., and Singh, D. P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. Field Crops Research 42: 57- 67.

Sparks, D. L. 1996. Methods of soil analysis. pp. 417-436. In: Part 3 - Chemical methods. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA, Madison WI.

Taiz, L., and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. Second Edition. Sinauer Associates: Sunderland, Massachusetts. 792 pp.

Tanguilig,V. C., Yambao, E. B., Toole, J. C. O., and DeDatta, S. K. 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. Plant and Soil 103: 155, 1987.

Tolk, J. A., and Howell, T. A. 2003. Water use efficiency of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. Agricultural Water Management. 59:97-111.

Van-Soest, P. J., Robertson, J. B., and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science.74:3583-3597.

Waghorn, G. C., Burke, J. L. and Kolver, E. S. 2007. Principles of feeding value. Pp.35-59. In: Rattray, P. V., Brookes, I. M., Nicol, A. M. (eds.) pastures and supplements for grazing animals. Occasional publication No. 14. New Zealand Society of Animal Production. Hamilton, New Zealand.

Ward, J. D., Redfearn, D. D., Mccormik , M. E., and Guomo, G. J. 2001. Chemical composition, ensiling characteristics, and apparent digestibility of summer anuual forages in a subtropical double – cropping system with annual ryegrass. Journal of Dairy Science 84: 177-182.

Wilson, J. R. 1983. Effects of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Australian Journal of Agricultural Research 34:377-390.